



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 32 022 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**F 02 D 41/20**  
F 02 M 51/06

⑳1 Aktenzeichen: 100 32 022.8  
㉔2 Anmeldetag: 1. 7. 2000  
㉔3 Offenlegungstag: 10. 1. 2002

DE 100 32 022 A 1

㉔1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

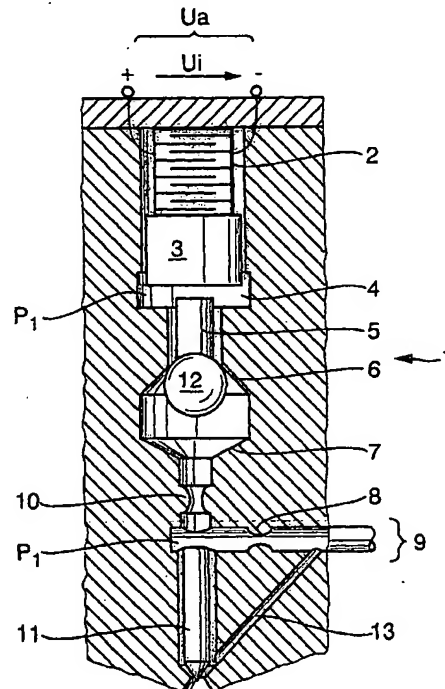
㉔2 Erfinder:  
Rueger, Johannes-Jörg, Dr., 71665 Vaihingen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

㉔4 Verfahren und Bestimmung der Ansteuerspannung für ein Einspritzventil mit einem piezoelektrischen Aktor

㉔7 Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils vorgeschlagen, bei dem vor dem nächsten Einspritzvorgang zunächst indirekt der Druck in einem hydraulischen Koppler (4) gemessen wird. Der Druck wird dadurch gemessen, dass der piezoelektrische Aktor (2) mechanisch mit dem hydraulischen Koppler (4) gekoppelt ist, so dass der Druck eine entsprechende Piezo-Spannung im Aktor (2) induziert. Diese induzierte Spannung wird vor dem nächsten Einspritzvorgang zur Korrektur der Ansteuerspannung u. a. für den Aktor (2) verwendet. Eine zu geringe induzierte Spannung wird als Fehler für die Erkennung eines Einspritzaussetzers gewertet.

Das Einspritzventil (1) wird vorzugsweise für ein Common-Rail-System zur Kraftstoffeinspritzung für einen Benzin- oder Dieselmotor verwendet (Figur 1).



DE 100 32 022 A 1



[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils nach der Gattung des Hauptanspruchs. Aus der DE 197 32 802 ist beispielsweise ein Einspritzventil für die Kraftstoffeinspritzung in den Verbrennungsraum eines Verbrennungsmotors mit einem Hochdrucksystem (Common-Rail-System) bekannt. Dieses Einspritzventil besitzt zwei Ventilsitze, gegen die ein Ventilschließglied bei Betätigung durch einen Piezo-Antrieb bewegt wird. Befindet sich das Ventilschließglied anfänglich in einer Schließstellung an dem ersten Ventilsitz, dann kann es mit Hilfe des Piezo-Antriebs in eine Zwischenstellung zwischen den Ventilsitzen und dann in eine zweite Schließstellung am zweiten Ventilsitz gelangen. Hierzu wird der piezoelektrische Aktor auf eine Ansteuerspannung geladen, die vom Druck im Common-Rail-System abhängt. Aufgrund der angelegten Spannung dehnt sich der Aktor in Längsrichtung aus und bewegt dadurch das Schließglied in Richtung des zweiten Ventilsitzes. Zur Umkehrung der Bewegung des Ventilschließgliedes in Richtung des ersten Ventilsitzes wird der Aktor wieder entladen.

[0002] Durch den Bewegungsablauf des Ventilschließgliedes vom einen zum anderen Ventilsitz wird eine kurzzeitige Entlastung eines unter Hochdruck stehenden Ventilsteuererraumes erreicht, über dessen Druckniveau die Steuerung einer Ventilnadel in eine Öffnungs- bzw. Schließstellung erfolgt. Befindet sich das Ventilschließglied in einer Zwischenstellung zwischen den beiden Ventilsitzen, erfolgt eine Kraftstoffeinspritzung. Auf diese Weise kann auch eine zweifache Kraftstoffeinspritzung, z. B. eine Voreinspritzung und eine Haupteinspritzung realisiert werden.

[0003] Die Ansteuerung des Ventiliertes erfolgt nicht direkt, sondern mittels einer hydraulischen Übersetzung in einem hydraulischen Koppler. Wenn der piezoelektrische Aktor so stark mit Spannung beaufschlagt wird, dass sich das Ventilschließglied aus seinem Ventilsitz bewegt, wird ein Teil der in der Hydraulikkammer befindlichen Kraftstoffmenge über deren Leckspalte herausgedrückt. Dieser Effekt ist besonders groß, wenn das Steuerventil an dem zweiten, dem Hochdruckbereich zugewandten Ventilsitz gehalten wird, da in diesem Fall die Gegenkraft durch den Rail-Druck besonders groß ist. Die Wiederbefüllung des Niederdruckbereiches in der Kammer des hydraulischen Kopplers erfolgt durch einen Systemdruck, welcher beispielsweise in der Praxis 15 bar betragen kann. Die Befüllung erfolgt ebenfalls über die Leckspalte, allerdings nur in der Zeit, während der der piezoelektrische Aktor nicht angesteuert ist.

[0004] Bei dem bekannten Einspritzventil tritt jedoch das Problem auf, dass der hydraulische Koppler in der Regel nicht vollständig wiederbefüllt wird. Der Ventilhub, der sich bei gleicher Ansteuerspannung des piezoelektrischen Aktors einstellt, kann daher in Abhängigkeit vom Wiederbefüllungsgrad sehr unterschiedlich sein. Je dichter zwei Einspritzungen aufeinander folgen, um so geringer ist die Wiederbefüllung des Kopplers. Auch ist ungünstig, dass bei einer langen Ansteuerzeit des Aktors und einer größeren Belastungszeit des hydraulischen Kopplers die Leckagemenge größer wird. Auch in diesem Fall ist die Wiederbefüllung nicht immer gewährleistet und somit ein unterschiedlicher Ventilhub bei unveränderter Ansteuerspannung möglich. Der unterschiedliche Ventilhub hat wiederum als Nachteil zur Folge, dass die Dosierung der Einspritzmenge ungenau ist und unter Umständen dazu führen kann, dass eine gewünschte Einspritzung von Kraftstoff ausbleiben kann,

wenn auf Grund der geringen Wiederbefüllung des Kopplers das Ventil nicht korrekt positioniert und daher die Düsen-nadel nicht geöffnet wird.

## Vorteile der Erfindung

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung für einen piezoelektrischen Aktor eines Einspritzventils mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass unabhängig von der vorherigen Einspritzdauer oder deren Ansteuerung immer eine optimale Ansteuerspannung für den Aktor bereitgestellt wird. Besonders vorteilhaft ist, dass unabhängig vom augenblicklichen Füllstand des hydraulischen Kopplers und dem in ihm herrschenden Drucks mit Hilfe des gemessenen Parameters das Einspritzventil so positioniert wird, dass die erforderliche Einspritzmenge auch tatsächlich ausgestoßen wird. Das ist insbesondere bei kleinen Dosierungen notwendig.

[0006] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. Besonders vorteilhaft ist, dass der Druck im hydraulischen Koppler auf den piezoelektrischen Aktor wirkt und in ihm eine Spannung induziert, die an den Ausgangsklemmen meßbar ist. Dadurch kann vorteilhaft ohne weiteren Sensor indirekt der Druck im Koppler erfaßt werden, der auf den Aktor wirkt und in ihm eine Spannung induziert.

[0007] Weiterhin ist vorteilhaft, dass der Druck zwischen zwei Einspritzungen, beispielsweise kurz vor Beginn der nächsten Einspritzung gemessen wird. Dadurch ist gewährleistet, dass der im Augenblick vorliegende Druck im Koppler erfaßt wird.

[0008] Eine günstige Lösung stellt weiterhin die Speicherung des Algorithmus in Form einer Tabelle dar, so dass für die entsprechenden Zuordnungswerte zwischen dem Druck und der Ansteuerspannung ein einfacher Zugriff besteht.

[0009] Liegt die induzierte Spannung jedoch unter einer vorgegebenen Schwelle, dann kann davon ausgegangen werden, dass keine oder keine korrekte Einspritzung erfolgte, weil der Koppler nicht ausreichend gefüllt war. Dieser Effekt kann vorteilhaft zur Aussetzererkennung bzw. Erkennung eines Fehlers der Kopplerbefüllung genutzt werden.

[0010] Vorteilhaft ist auch, die Ansteuerspannung proportional zum Kopplerdruck anzupassen. Diese Anpassung kann mit einem Faktor bestimmt werden, mit dem beispielsweise die Ansteuerspannung multipliziert wird. Insbesondere bei der Messung des Kopplerdruckes kurz vor der nachfolgenden Einspritzung ist so vorteilhaft gewährleistet, dass der aktuelle Wiederbefüllungsgrad des Kopplers berücksichtigt wird.

[0011] Die Bestimmung und Erzeugung der Ansteuerspannung für den Aktor mittels eines Softwareprogramms stellt eine einfache Lösung dar, die auch die Applikation an verschiedene Motortypen vereinfacht, da keine mechanischen Änderungen durchzuführen sind.

[0012] Als besonderer Vorteil wird angesehen, dass die Verwendung des Verfahrens für die Kraftstoffeinspritzung in einem Verbrennungsmotor geeignet ist, zumal die Berechnung der Ansteuerspannung für jeden Zylinder des Motors individuell einstellbar ist.

## Zeichnung

[0013] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschrei-



bung näher erläutert. Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau eines Einspritzventils, Fig. 2a und b zeigen Diagramme für die Ansteuerspannung und den Druckverlauf, Fig. 3 zeigt ein Diagramm für den Kopplerdruck und die Aktorspannung, Fig. 4 zeigt ein Strukturdiagramm und Fig. 5 zeigt ein weiteres Diagramm.

#### Beschreibung

[0014] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein Einspritzventil 1 mit einer zentralen Bohrung. Im oberen Teil ist ein Stellkolben 3 mit einem piezoelektrischen Aktor 2 eingebracht, wobei der Stellkolben 3 mit dem Aktor 2 fest verbunden ist. Der Stellkolben 3 schließt nach oben hin einen hydraulischen Koppler 4 ab, während nach unten eine Öffnung mit einem Verbindungskanal zu einem ersten Sitz 6 vorgesehen ist, in dem ein Kolben 5 mit einem Verschließglied 12 angeordnet ist. Das Verschließglied 12 ist als doppelt schließendes Steuerventil ausgebildet. Es verschließt den ersten Sitz 6, wenn der Aktor 2 in Ruhephase ist. Bei Betätigung des Aktors 2, d. h. beim Anlegen einer Ansteuerspannung  $U_a$  an den Klemmen +, -, betätigt der Aktor 2 den Stellkolben 3 und drückt über den hydraulischen Koppler 4 den Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf einen zweiten Sitz 7. Unterhalb des zweiten Sitzes ist in einem entsprechenden Kanal eine Düsennadel 11 angebracht, die den Auslauf im Hochdruckkanal (Common-Rail-Druck) 13 schließt oder öffnet, je nach dem, welche Ansteuerspannung  $U_a$  anliegt. Der Hochdruck wird durch das einzuspritzende Medium, beispielsweise Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor über einen Zulauf 9 zugeführt. Über eine Zulaufdrossel 8 und eine Ablaufdrossel 10 wird die Zufuhrmenge des Mediums in Richtung auf die Düsennadel 11 und den hydraulischen Koppler 4 gesteuert. Der hydraulische Koppler 4 hat dabei die Aufgabe, einerseits den Hub des Kolbens 5 zu verstärken und andererseits das Steuerventil von der statischen Temperaturdehnung des Aktors 2 zu entkoppeln. Die Wiederbefüllung des Kopplers ist hier nicht dargestellt.

[0015] Im folgenden wird die Funktionsweise dieses Einspritzventils näher erläutert. Bei jeder Ansteuerung des Aktors 2 wird der Stellkolben 3 in Richtung des hydraulischen Kopplers 4 bewegt. Dabei bewegt sich auch der Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf den zweiten Sitz 7 zu. Über Leckspalte wird dabei ein Teil des im hydraulischen Koppler 4 befindlichen Mediums, beispielsweise der Kraftstoff, herausgedrückt. Zwischen zwei Einspritzungen muß daher der hydraulische Koppler 4 wieder befüllt werden, um seine Funktionssicherheit zu erhalten.

[0016] Über den Zulaufkanal 9 herrscht ein hoher Druck, der beim Common-Rail-System beispielsweise zwischen 200 und 1600 bar betragen kann. Dieser Druck wirkt gegen die Düsennadel 11 und hält sie geschlossen, so dass kein Kraftstoff austreten kann. Wird nun in Folge der Ansteuerspannung  $U_a$  der Aktor 2 betätigt und damit das Verschließglied 12 in Richtung des zweiten Sitzes bewegt, dann baut sich der Druck im Hochdruckbereich ab und die Düsennadel 11 gibt den Einspritzkanal frei.

[0017] Dieses Verhalten des Einspritzventils 1 wird noch einmal an den Diagrammen der Fig. 2a, b näher erläutert. In Fig. 2a ist auf der Y-Achse die Ansteuerspannung  $U_a$  über die Zeitachse  $t$  aufgetragen. Darunter ist in Fig. 2b der zugehörige Kopplerdruck  $P_1$  aufgetragen, wie er im hydraulischen Koppler 4 gemessen wird. Im Koppler stellt sich ohne Ansteuerung  $U_a$  ein stationärer Druck  $P_1$  ein, der beispielsweise 1/10 vom Druck  $P_r$  im Hochdruckteil ist. Nach dem Entladen des Aktors 2 ist der Kopplerdruck näherungsweise 0 und wird durch Wiederbefüllung wieder angehoben. Vor

dem neuen Ladevorgang wird jedoch der stationäre Wiederbefülldruck  $P_1$  nicht erreicht, wie in Position  $t = b$  erkennbar ist. Erst zum Zeitpunkt  $c$  erfolgt der Druckaufbau durch die Wiederbefüllung des Kopplers 4, bis der Kopplerdruck  $P_1$  erreicht ist (d). Der Druckverlauf wird durch die Ansteuerspannung  $U_a$  gesteuert. In Position  $a$  wird die höchste Spannung, beispielsweise 200 V und der höchste Druck erreicht. Der Druck verläuft dann entsprechend dem Spannungsverlauf, d. h. je nachdem welche Position das Verschließglied 12 zwischen dem ersten Sitz 6 und dem zweiten Sitz 7 einnimmt. Es wäre nun wünschenswert, dass zum Zeitpunkt  $b$  bereits der ursprüngliche Kopplerdruck  $P_1$  erreicht worden wäre. Da dies nicht der Fall ist, muß die Ansteuerspannung entsprechend korrigiert werden.

[0018] Erfindungsgemäß wird nun vorgeschlagen, den Druckverlauf in dem hydraulischen Koppler 4 mittels der in den Aktor 2 induzierten Spannung (Piezospaltung)  $U_i$  zu messen. Wegen des hohen Drucks insbesondere im Common-Rail-System ergibt sich wegen des Übersetzungsverhältnisses des Kopplers von z. B. 1 : 10 ein Wiederbefülldruck von bis zu 160 bar. Dieser hohe Wiederbefülldruck führt dazu, dass bei entlademem Aktor, d. h. das Verschließglied 12 liegt am 1. Sitz 6 des doppelt schließenden Einspritzventils 1 an, sich ein hoher Druck im Koppler 4 ausbildet, der im Aktor 2 eine entsprechende Piezospaltung  $U_i$  erzeugt. Ist nun der Koppler 4 nicht oder nicht ausreichend gefüllt, so ergibt sich im Koppler 4 ein niedrigerer Druck und damit eine niedrigere Spannung  $U_i$ . Fig. 5 zeigt entsprechende Kurven für die Spannung  $U_i$ . Die Kurve  $a$  zeigt den Verlauf mit einem leeren Koppler 4 und Kurve  $b, c$  zeigt den Verlauf mit einem gefüllten Koppler. Wird die Spannung  $U_i$  zum Zeitpunkt  $t_1$ , d. h. unmittelbar vor der Ansteuerung in  $t_2$  gemessen, ergeben sich je nach Befüllungsgrad des Kopplers 4 entsprechende Spannungsverläufe. Durch Vorgabe eines Schwellwertes  $S$  kann nun zum Zeitpunkt  $t_1$  festgelegt werden, ob der Koppler 4 ausreichend gefüllt ist oder nicht. Dies ist ein guter Fehlerindikator zur Aussetzererkennung. Denn ein nicht ausreichend gefüllter Koppler 4 kann eine unvollständige oder fehlende Einspritzung des Kraftstoffes bewirken. In diesem Fall kann u. U. auch durch eine Erhöhung der Aktorspannung das Steuerventil nicht mehr korrekt angesteuert werden, da der erforderliche Druck im Koppler nicht aufgebracht werden kann. Bei Unterschreiten der Schwelle kann dieser Fehler optisch oder akustisch ausgegeben und/oder in einem entsprechenden Fehlerspeicher gespeichert werden, so dass auch später, beispielsweise in der Werkstatt dieser Fehler auslesbar ist.

[0019] Ein Zusammenhang zwischen dem Kopplerdruck  $P_1$  und der induzierten Aktorspannung  $U_i$  ist in den Diagrammen der Fig. 3 dargestellt. Hier ist erkennbar, dass die Aktorspannung  $U_i$  proportional zum Kopplerdruck  $P_1$  verläuft. Die Kurve 31 zeigt dabei den Kopplerdruck und die Kurve 32 zeigt die induzierte Aktorspannung  $U_i$ . Aus diesen Kurven ist ersichtlich, dass beispielsweise mit einem einfachen Proportionalitätsfaktor ein Algorithmus gebildet werden kann, der zur Korrektur der Aktorspannung  $U_i$  in Abhängigkeit vom Kopplerdruck  $P_1$  verwendbar ist.

[0020] In alternativer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, tabellarische Werte für den Zusammenhang zwischen dem Druck und der induzierten Spannung aufzustellen und dies in einem entsprechenden Speicher abzulegen. Mittels eines entsprechenden Programms sind diese Werte für die Korrektur der Ansteuerspannung  $U_a$  verwendbar. Das entsprechende Programm ist vorzugsweise Bestandteil eines Systems zur Motorsteuerung, insbesondere für die Direkteinspritzung eines Benzin- oder Dieselmotors.

[0021] Fig. 4 zeigt ein Strukturdiagramm, aus dem das Softwareprogramm zur Korrektur der Ansteuerspannung  $U_a$



ableitbar ist. Es wird noch darauf hingewiesen, dass dieses Strukturdiagramm für beispielsweise einen Zylinder des Verbrennungsmotors gilt und für einen weiteren Zylinder wahlweise geändert werden kann. Die im Aktor 2 induzierte Spannung  $U_i$ , die ein Maß für den Druck im Koppler 4 ist, wird in Position 41 als Signal aufbereitet und als Druckgröße  $P_1$  einem Subtrahierer 42 zugeführt. Auf diesen Subtrahierer 42 wird des Weiteren der Wert des Druckes  $P_1$  geleitet, der sich stationär im Koppler 44 einstellen würde. Als Ergebnis steht am Ausgang des Subtrahierers 42 ein Differenzdruck  $dP$  zur Verfügung. Der Differenzdruck wird wieder auf eine Kennlinie 43 geleitet, die daraus eine Korrekturspannung  $U_{kor}$  erzeugt. Diese Korrekturspannung wird zur Ansteuerspannung  $U_a$  addiert. Zur Aussetzererkennung wird diese Spannung  $U_{kor}$  beispielsweise in einem nicht dargestellten Komparator mit einem vorgegebenen Schwellwert  $S$  verglichen und gegebenenfalls eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben und/oder abgespeichert. Dadurch ist der Fehler als Nachweis auch später noch verfügbar.

[0022] In alternativer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, die induzierte Spannung  $U_i$  bzw. den daraus ermittelte Kopplerdruck  $P_k$  zur Fehlererkennung zu verwenden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Ansteuerspannung für einen piezoelektrischen Aktor (2) eines Einspritzventils (1), mit dem eine Flüssigkeitsmenge unter Hochdruck in einen Hohlraum eingespritzt wird, wobei der Aktor (2) in einer Bohrung des Einspritzventils (1) über einen Stellkolben (3) mit einem angrenzenden hydraulischen Koppler (4) verbunden ist, der als hydraulische Übersetzung arbeitet und einen hohen Druck auf einen Kolben (5) mit einem Verschleißglied 12 ausübt und dabei das Verschleißglied (12) in Stellungen zwischen einem ersten Sitz (6) und einen zweiten Sitz (7) bewegt, und wobei nach einem Einspritzvorgang der hydraulische Koppler (4) über einen entsprechenden Kanal wiederbefüllt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einem Einspritzvorgang ein dem Druck ( $P_1$ ) im hydraulischen Koppler (4) entsprechender Parameter gemessen wird, und dass mit dem Parameter mittels eines vorgegebenen Algorithmus ein Wert für die Ansteuerspannung ( $U_a$ ) des piezoelektrischen Aktors (2) bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an den Klemmen des Aktors als Parameter eine Spannung ( $U_i$ ) gemessen wird, die bedingt durch den Druck ( $P_1$ ) im Koppler (4) in dem Aktor (2) induziert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannung zwischen zwei Einspritzungen gemessen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerspannung ( $U_a$ ) an den aktuell im Koppler (4) herrschenden Druck ( $P_1$ ) angepaßt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Algorithmus eine Tabelle aufweist, in der Zuordnungswerte zwischen dem Druck ( $P_1$ ), der induzierten Spannung ( $U_i$ ) und/oder der Ansteuerspannung ( $U_a$ ) gespeichert sind.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Unterschreiten eines vorgegebenen Schwellwertes für die induzierte Spannung ( $U_i$ ) und/oder den berechneten Kopplerdruck ( $P_k$ ) eine Fehlermeldung ausgegeben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Fehlermeldung optisch, akustisch ausgegeben und/oder in einem Fehlerspeicher gespeichert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerspannung ( $U_a$ ) proportional dem Kopplerdruck ( $P_1$ ) angepaßt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktorspannung ( $U_i$ ) direkt vor der nachfolgenden Ansteuerung gemessen wird, vorzugsweise zu dem Zeitpunkt, zu dem der Rail-Druck im Hochdruckkanal gemessen wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerspannung ( $U_a$ ) mittels eines Softwareprogramms bestimmbar ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Softwareprogramm Bestandteil eines Rechnersystems zur Motorsteuerung ist, vorzugsweise für ein Common-Rail-System.

12. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffeinspritzung zur Direkteinspritzung für einen Benzin- oder Dieselmotor verwendet wird.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---



- Leerseite -



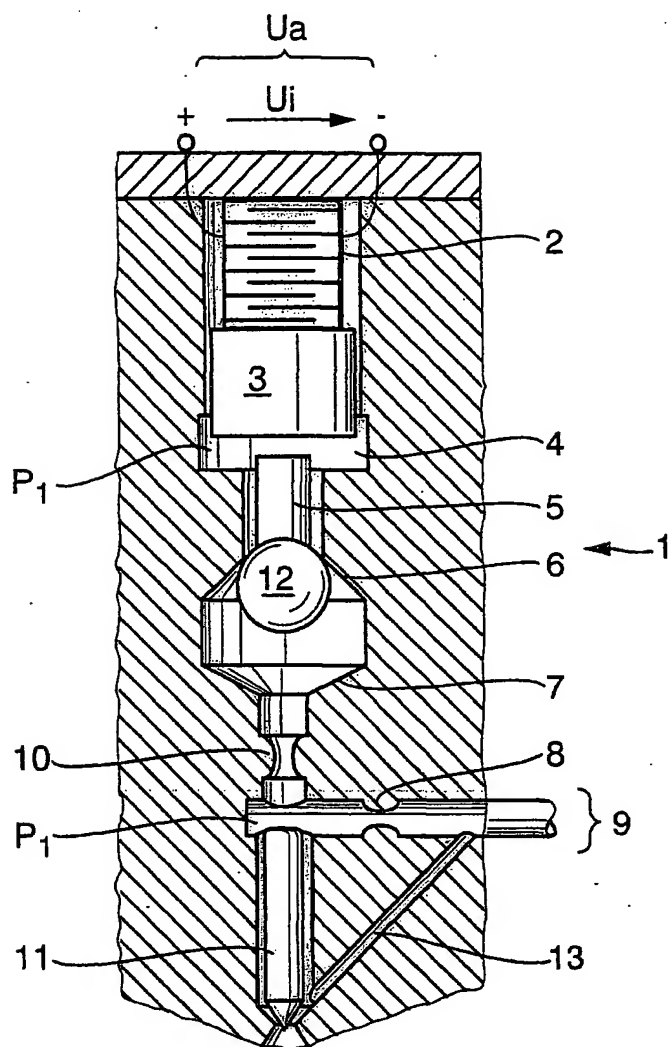
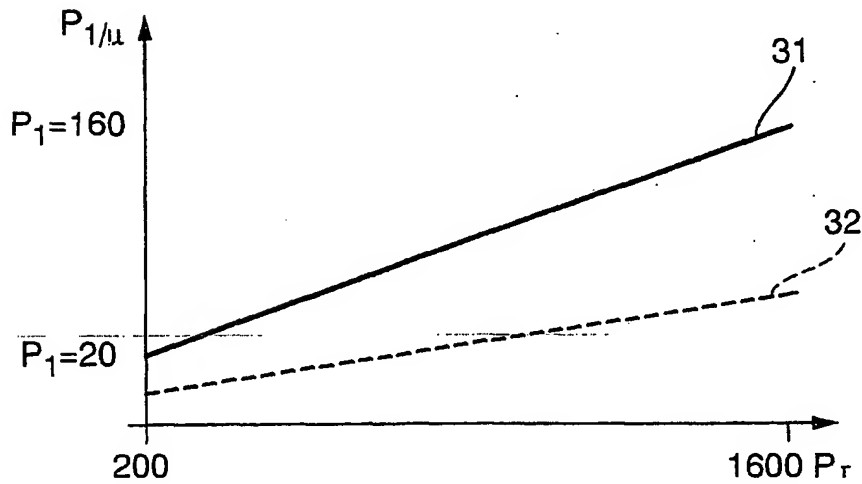
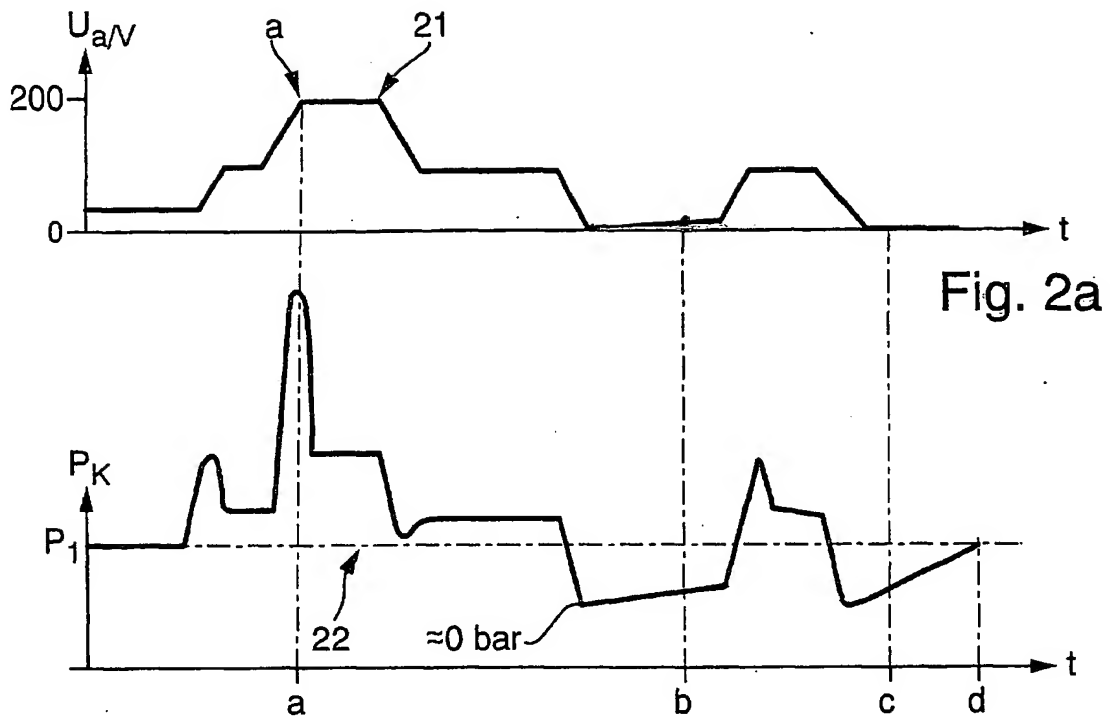


Fig. 1



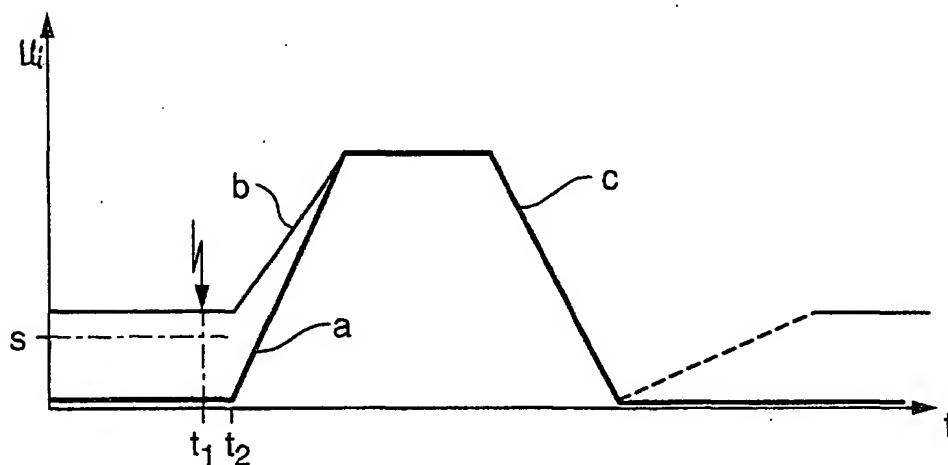
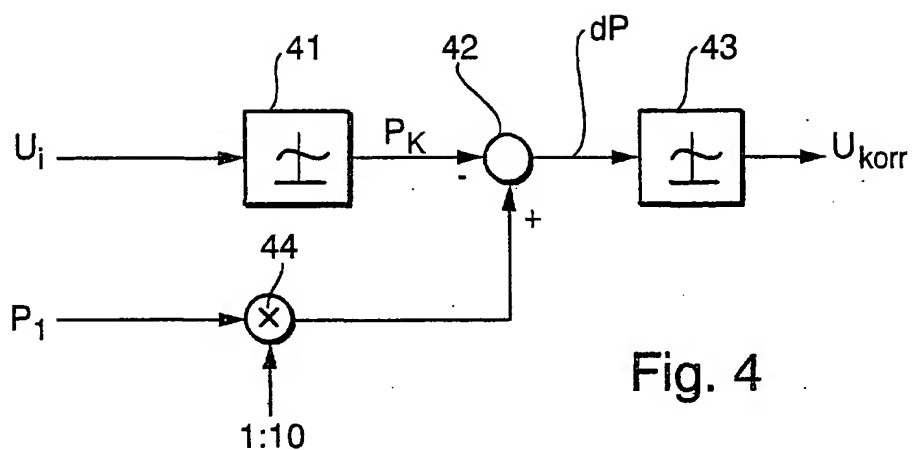


Fig. 5